

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

17. 9. 2004

REC'D 11 NOV 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   9 月 1 6 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 3 2 3 4 6 1  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 3 2 3 4 6 1 ]

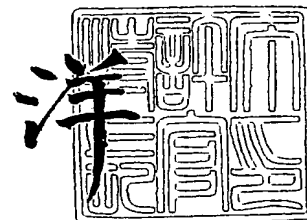
出      願      人            浜松ホトニクス株式会社  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 1 0 月 2 8 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願  
【整理番号】 2003-0524  
【提出日】 平成15年 9月16日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01J 35/08  
H01J 35/18

【発明者】  
【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社  
内  
【氏名】 松村 達也

【発明者】  
【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社  
内  
【氏名】 岡田 知幸

【発明者】  
【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社  
内  
【氏名】 山本 徹

【発明者】  
【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社  
内  
【氏名】 高岡 秀嗣

【発明者】  
【住所又は居所】 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社  
内  
【氏名】 遠藤 哲朗

【特許出願人】  
【識別番号】 000236436  
【氏名又は名称】 浜松ホトニクス株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100088155  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】  
【識別番号】 100092657  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】  
【識別番号】 100124291  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 石田 悟

【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 014708  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】  
【物件名】 特許請求の範囲 1  
【物件名】 明細書 1  
【物件名】 図面 1  
【物件名】 要約書 1

## 【書類名】特許請求の範囲

## 【請求項 1】

透過窓を介して X 線を出射する X 線管であって、  
アルカリイオンを含有するとともに前記透過窓を規定するための開口が設けられたガラス  
面板を有する密閉容器と、  
前記密閉容器内に配置され、電子を放出するための電子源と、  
前記密閉容器内に配置され、前記電子源から放出された電子を受けて X 線を発生する X  
線ターゲットと、  
前記ガラス面板の開口を覆った状態で、該開口を規定する該ガラス面板に陽極接合によ  
り直接貼り付けられた、前記透過窓を構成するシリコン箔とを備えた X 線管。

## 【請求項 2】

前記シリコン箔は、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下の膜厚を有することを特徴とする請求項 1 記載の X 線  
管。

## 【請求項 3】

前記シリコン箔は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の膜厚を有することを特徴とする請求項 2 記載の X 線  
管。

## 【請求項 4】

前記 X 線ターゲットは、前記密閉容器内に面する側の前記シリコン箔の面上に蒸着され  
ていることを特徴とする請求項 1 記載の X 線管。

## 【請求項 5】

前記密閉容器の開口は、前記透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造を有する  
ことを特徴とする請求項 1 記載の X 線管。

## 【請求項 6】

前記密閉容器の開口は、それぞれが前記透過窓に相当する複数の貫通孔からなることを  
特徴とする請求項 1 記載の X 線管。

【書類名】明細書

【発明の名称】X線管

【技術分野】

【0001】

この発明は、X線を出射するX線管に関し、特に、空気あるいはガス中にX線を照射してイオンガスを生成する除電装置等に適した構造を有するX線管に関するものである。

【背景技術】

【0002】

帯電した被除電体をイオン化したガス流により除電する処理が従来から行われている。このような除電処理に利用されるイオンガスは、空気あるいはガス中にX線を照射することにより生成される。また、X線を出射するX線管においては、X線をX線管外に取り出すための透過窓に使用される透過窓材として、X線透過率に優れたベリリウムが採用されたX線管が知られており（特許文献1）、このようなX線管が除電装置等に組み込まれる。

【0003】

ベリリウム製の透過窓の取り付けは、該透過窓を金属リングで一旦補強し、この金属リングをガラス容器本体に取り付けることにより行われる（特許文献2）。なお、透過窓であるベリリウム板と金属リングの接着は、該ベリリウム板とロウ材を介して金属リングに設置した状態で、これら部材を加熱処理することにより行われる（特許文献3）。

【特許文献1】特許第2951477号

【特許文献2】特開2000-306533号公報

【特許文献3】特開2001-59900号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

発明者らは、従来のX線管について詳細に検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、従来のX線管では、透過窓材としてX線透過率に優れたベリリウムが採用されていた。このベリリウムは、特定化学物質に指定されている有害な物質である。したがって、使用環境への悪影響を低減すべく、ライフエンドにおける製品廃棄の際にも管球の回収義務が製造元に課せられていた。ただし、X線管の透過窓材としてベリリウムの使用を止めれば対環境性に関する課題は解消するが、現実には、真空気密が維持可能な厚みでX線透過率に優れた材質として適切な材料は無く、仕方なくベリリウムを利用しなければならないという状況であった。また、従来のベリリウム透過窓は、特に1~2 keV程度の低いエネルギーのX線を選択的に効率よく取り出すことは難しく、より高いエネルギーのX線も放出されやすいので、除電装置等に使用された場合、人体への影響があり得るという課題があった。

【0005】

さらに、低エネルギーのX線を取り出そうとすると、透過窓の厚みを薄くする必要がある。この場合、透過窓が密閉容器の一部を構成するのに十分な強度を有していたとしても、ロウ材を介して密閉容器の一部（特許文献2における金属リング）に透過窓を接着した場合、ロウ材表面の凹凸の影響等により、該透過窓自体にクラックが生じ、透過窓として機能し得なくなる場合がある。また、クラックが発生しなくとも透過窓に歪みが生じていると、十分な耐久性が得られないという課題があった。

【0006】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、有害なベリリウムを用いる必要がなく、かつ人体に対して安全性の高いX線が効率よく取り出せるとともに耐久性に優れた構造を備えたX線管を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この発明に係るX線管は、透過窓を介してX線を出射するX線管であって、特に空気あ

るいはガス中にX線を照射してイオンガスを生成する除電装置等に適した構造を備える。具体的に、この発明に係るX線管は、密閉容器と、電子源と、X線ターゲットと、シリコン箔を、少なくとも備える。上記密閉容器は、アルカリイオンが含有されるとともに透過窓を規定するための開口が設けられたガラス面板を含む。上記電子源は、密閉容器内に配置されており、X線ターゲットに向けて電子を放出する。上記X線ターゲットは、電子源から放出された電子を受けてX線が発生する。

#### 【0008】

特に、この発明に係るX線管において、上記シリコン箔は、ガラス面板の開口を覆った状態で、該ガラス面板に陽極接合により直接貼り付けられている。ここで、上記シリコン箔は、所望のエネルギーのX線を得るため、 $30\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下の膜厚を有するが、このシリコン箔自体は非常にフレキシブルな材料である。そこで、この発明に係るX線管では、開口を規定するガラス面板にシリコン箔を直接貼り付けることにより、該ガラス面板を該シリコン箔の補強部材として機能させる一方、該シリコン箔が密閉容器の一部として機能し、密閉容器の真空気密を維持する。例えば、このように薄いシリコン箔を従来のようにロウ材を介して密閉容器の一部に接着した場合、ロウ材表面の凹凸の影響等により該シリコン箔自体にクラックが生じ、透過窓として機能し得ない場合がある。また、クラックが発生しなくともシリコン箔に歪みが生じていると、十分な耐久性が得られない。そこで、この発明では、密閉容器の一部にアルカリイオンが含有されたガラス面板を用意し、このガラス面板にシリコン箔を陽極接合により直接貼り付けることにより（シリコン箔とガラス面板とが直接接触した状態）、シリコン箔の透過窓として機能する領域全体に均等な張力が与えられるよう、該密閉容器を補強部材として機能させる。これにより、当該X線管には十分な耐久性が与えられる。

#### 【0009】

なお、最近の半導体技術の向上により、厚みが $3\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 程度の極薄シリコン箔が比較的安価に製造されるようになってきた。図1は、シリコンとベリリウムのX線透過特性を示すグラフであり、グラフG110は厚み $500\mu\text{m}$ のベリリウムのX線透過率、そして、グラフG120は厚み $10\mu\text{m}$ のシリコンのX線透過率をそれぞれ示している。この図から分かるように、シリコン箔の厚みを約 $10\mu\text{m}$ まで薄くすれば、従来主に利用されてきた厚み $500\mu\text{m}$ ベリリウムとほぼ同程度のX線透過特性を得ることができる。一方、シリコンは厚み $3\mu\text{m}$ 以上あれば真空密閉容器の封止を兼ねたX線透過窓として使用可能であり（真空密閉容器の一部として現状では十分な強度が得られる）、この場合、そのX線透過率において厚み約 $200\mu\text{m}$ のベリリウムに相当する透過窓材となり得る。ここで注目すべき点は、シリコン箔の厚みを $30\mu\text{m}$ 以下に薄くした場合、シリコン元素固有のX線吸収特性（K吸収端）である $1.84\text{keV}$ 以下の極軟X線が効率よく出射されることである。これは、ベリリウムには無い特長であって、このようなシリコンが透過窓材として適用されたX線管が除電用途に利用された場合、特許文献1にも開示されているように出射されたX線が $10\text{cm}$ 程度で空気に吸収されてしまうため、人体に対して安全性の高いX線が非常に効率良く取り出すことができる。

#### 【0010】

さらに、この発明に係るX線管は、透過型及び反射型のいずれの構造を備えてもよい。透過型X線管の場合、上記X線ターゲットは、当該X線管の小型化を可能にするため、密閉容器内に面するシリコン箔の面上に蒸着されるのが好ましい。

#### 【0011】

上記シリコン箔は、厚みが $30\mu\text{m}$ 以下と非常に薄いので、上記ガラス面板に設けられた開口の面積が大き過ぎるとクラックが生じる可能性がある。そこで、このシリコン箔で覆う領域を予め個々の面積の小さな複数の区画に分割した構造にすることにより、実質的に大面積の透過窓を構成することができる。具体的には、上記密閉容器の開口は、透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造を備えてもよく、また、上記ガラス面板の開口は、それぞれが透過窓に相当する複数の貫通孔でもよい。

#### 【発明の効果】

## 【0012】

以上のようにこの発明によれば、X線管の透過窓材として従来から利用されてきたベリリウムに換え、所定の厚みを有するシリコン箔を利用することにより、特定化学物質に指定されている有害なベリリウムを利用することなく、かつ人体に安全性の高いX線を効率よく取り出すことができるX線管が得られる。また、シリコン箔を利用することにより従来よりも低価格のX線管が製造し得る。

## 【0013】

さらに、シリコン箔は、陽極接合により直接接触した状態で該シリコン箔を支持するガラス面板に直接貼り付けられるので、歪みやクラックの発生が効果的に抑制され、耐久性に優れた構造が得られる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0014】

以下、この発明に係るX線管の各実施形態を、図2～図10を用いて詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一符号を付して重複する説明を省略する。また、以下の説明では、先に説明した図1も随時引用する。

## 【0015】

## (第1実施形態)

まず、この発明に係るX線管における第1実施形態について説明する。図2は、この発明に係るX線管における第1実施形態として、透過型X線管の構成を示す組立工程図である。また、図3は、図2中のI-I線に沿った第1実施形態に係る透過型X線管100の断面構造を示す図である。

## 【0016】

この第1実施形態に係るX線管100は、開口102を有する容器本体(ガラス容器)101と、該開口102に取り付けられる金属フランジ120を備える。この金属フランジ120の窪み中央には、開口121が設けられるとともに、該金属フランジ120の窪みにはアルカリイオンが含有されたガラス面板130がはめ込まれている。ガラス面板130には透過窓を規定するための開口131が設けられており、この開口131を覆った状態でシリコン箔140が該ガラス面板130に直接貼り付けられている。なお、上記金属フランジ120、ガラス面板130及びシリコン箔140は、容器本体101の中心軸AXに沿って順に、該容器本体101の開口102に取り付けられている。

## 【0017】

特に、この第1実施形態において、シリコン箔140は該開口131を塞ぐようにアルカリ含有ガラス面板130に陽極接合により直接接触した状態で貼り付けられており、上記容器本体101、上記金属フランジ120、ガラス面板130及び上記シリコン箔140により真空密閉容器が構成されている。

## 【0018】

上記容器本体101には、容器本体101、金属フランジ120、ガラス面板130及びシリコン箔140により構成された密閉容器を、真空引きして真空密閉容器にするためのバルブ104が設けられており、当該容器本体101内には、電子源110、集束電極111、ガス吸着材112が配置されている。また、容器本体101の底部103には、これら部材に所定電圧を印加させるとともに、該容器本体101内の所定位置に保持するため、該底部103を貫通したステムピン113が配置されている。開口131周辺に位置する、ガラス面板130の真空密閉容器側の面には、電子ビームが直接に該真空密閉容器側の面へ当たることによる真空密閉容器内の帯電の防止と電子ビームをシリコン箔140に集束させるための電子レンズを形成するため、例えばアルミニウムやクロムなどの保護電極132が金属フランジ120に接するように蒸着されている。そのため、この保護電極132は金属フランジ120と同電位である。なお、この保護電極132は、蒸着による形成の方が容易ではあるが、確実に金属フランジ120と同電位にするためには、例えばステンレス等の金属板であると好ましい。

## 【0019】

なお、ガラス面板 130 に貼り付けられたシリコン箔 140 の、真空密閉容器内に面する側の面、より詳しくはシリコン箔 140 の、開口 131 を実質的に覆っている部分の真空密閉容器内に面する側の面には、X線ターゲット 141 が蒸着されている。この蒸着された X線ターゲット 141 の一部が保護電極 132 と電氣的に接続されることによって、金属フランジ 120、保護電極 132、シリコン箔 140、X線ターゲット 141 は同電位となる。ただし、真空密閉容器内に位置する側の開口 131 の角への蒸着がうまくいかない場合もあるので、金属フランジ 120 又は保護電極 132 と、シリコン箔 140 又は X線ターゲット 141 とを導電性部材を介して電氣的に接続してもよい。例えばこの第 1 実施形態に係る X線管において、X線ターゲット 141 側を GND 電位にして使用する場合には、金属フランジ 120、保護電極 132 及びシリコン箔 140 のいずれかを導電性部材を介して接地させればよい。なお、X線ターゲット 141 と保護電極 132 が共通する材料からなる場合は、両者を蒸着により一緒に形成することも可能である。また、電子源 110 は、従来のフィラメント等の熱陰極型電子源に限らず、当該 X線管自体を小型化する場合にはカーボンナノチューブ電子源等の冷陰極型電子源も適用可能である。

#### 【0020】

この第 1 実施形態に係る透過型 X線管 100 に適用されるシリコン箔 140 は、 $30\ \mu\text{m}$  以下、好ましくは  $10\ \mu\text{m}$  以下の厚みを有する。このように、シリコン箔 140 は、非常に薄いので、ガラス面板 130 に設けられた開口の面積が大き過ぎるとクラックが生じてしまう可能性がある。具体的には、直径  $10\ \text{mm}$  以上の大面積の透過窓を一枚のシリコン箔で気密封止させる場合には、密閉容器内外での差圧により該シリコン箔が曲がり、クラックが入ってしまうおそれがある。これは、シリコン箔自体の強度不足によるものである。そこで、ガラス面板 130 の開口 131 は、図 4 に示されたように、透過窓を複数の区画に予め分割させる構造であるのが好ましい。図 4 (a) では、開口 131 として、それぞれが透過窓に相当する複数の貫通孔がガラス面板 130 に設けられている。なお、この開口 131 は、図 4 (b) に示されたように、透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造であってもよい。

#### 【0021】

例えば、開口 131 として直径  $5\ \text{mm}$  以下の貫通孔が複数設けられた場合、直径  $10\ \text{mm}$  以上の大面積のシリコン箔 140 が利用できる。除電用途などに対しては、このような構造でも全く問題が無いためシリコン箔の大面積化が可能である。また、陽極接合技術を用いて強固に接合されるため、強固な真空封止が可能になる。

#### 【0022】

次に、厚みの異なるシリコン箔の各 X線透過特性を図 5 に示す。この図 5 において、グラフ G510 は厚み  $3\ \mu\text{m}$  のシリコン箔の X線透過率、グラフ G520 は厚み  $10\ \mu\text{m}$  のシリコン箔の X線透過率、グラフ G530 は厚み  $20\ \mu\text{m}$  のシリコン箔の X線透過率、そして、グラフ G540 は厚み  $30\ \mu\text{m}$  のシリコン箔の X線透過率をそれぞれ示している。

#### 【0023】

この図 5 及び先に説明した図 1 から分かるように、従来の透過窓材として利用される厚み  $500\ \mu\text{m}$  のベリリウムに相当する X線透過率を得るためには、シリコン箔の厚みは、約  $8\ \mu\text{m}$  である。シリコン箔の厚みは  $3\ \mu\text{m}$  以上あれば真空密閉容器の封止を兼ねた透過窓材として使用可能であり、その場合の X線透過率は厚み約  $200\ \mu\text{m}$  のベリリウムに相当する。なお、シリコン箔の X線透過率はベリリウムとは異なり、 $0.5\ \text{keV}$  から  $1.84\ \text{keV}$  の間に特徴的なピークを有する。この領域の X線は非常に空気に吸収されやすいため、イオンを大量に生成子ながらすぐに減衰してしまうため X線の到達距離も短く、人体に対する安全性も高い利点がある。これは、ベリリウムには無い特徴であって、当該 X線管（透過窓材としてシリコン箔を利用した X線管）を除電用途に用いた場合、上記特許文献 1 にも記載されたような効果を高効率で達成することが可能になる。

#### 【0024】

また、透過窓材としてシリコン箔を管電圧数十  $\text{kV}$  以上の X線管に適用する場合には、該シリコン箔による X線エネルギーの減衰はほとんどベリリウムと変わらなくなるため、

該ベリリウムに換わる透過窓材として全く問題なく適用可能である。

#### 【0025】

また、通常の除電用軟X線管における透過窓材として、管電圧10kV程度のX線管にこのシリコン箔が適用されると、従来は放出されなかった1.84keV以下の軟X線までも出力されるため、このように透過窓材を取り替えるだけで特にX線管近傍においての発生イオン量が増大し、除電効果を著しく向上させることができる。

#### 【0026】

特に、管電圧を4～6kV程度まで下げて動作させる場合、シリコン箔自体のX線吸収端特性がX線フィルタの役割を果たすため、白色成分のほとんど無い単色X線を容易に得ることができる。このとき、X線ターゲット141の材質としては、タングステン（M線：約1.8keV）やアルミニウム（K線：約1.49keV）等が適しており、シリコン箔自体（K線：約1.74keV）をX線ターゲットとして動作させても単色X線を容易に得ることができる。

#### 【0027】

なお、このX線ターゲット141の材質は上記に限られることは無く、1.84keV以下の特性X線を発生するX線ターゲットであれば使用可能である。また、シリコン箔の厚みは30μm以下の厚みであれば1.8keV付近のX線は10%以上が透過するため、実用可能である。さらに、加速電圧が10kV以上であるX線管に使用される場合、透過窓材としてより厚いシリコン箔を利用しても問題ない。

#### 【0028】

##### （第2実施形態）

次に、この発明に係るX線管における第2実施形態について説明する。図6は、この発明に係るX線管の第2実施形態として、透過型X線管200の構成を示す組立工程図である。また、図7は、図6中のII-II線に沿った、第2実施形態に係る透過型X線管200の断面構造を示す図である。

#### 【0029】

この第2実施形態に係るX線管200において、密閉容器は、透過窓を規定するための開口202が設けられたガラス面板を含む容器本体（アルカリ含有ガラス容器）201と、該開口202を塞ぐようにガラス面板上の領域202aに貼り付けられたシリコン箔240と、軸AXに沿って容器本体201に取り付けられるガラスステム203によって構成される。シリコン箔240は、容器本体201の一部であるアルカリ含有ガラス面板上の領域202aに、陽極接合により直接接触した状態で貼り付けられる。また、ガラスステム203には、容器本体201とシリコン箔240とガラスステム203により構成された密閉容器を、真空引きして真空密閉容器にするためのバルブ204が設けられており、容器本体201内に収納されるよう、電子源210、集束電極211及びガス吸着材212がステムピン213を介して取り付けられている。開口202周辺に位置する、容器本体201のガラス面板の真空密閉容器側の面には電子ビームが直接に該真空密閉容器側の面へ当たることによる真空密閉容器内の帯電の防止と電子ビームをシリコン箔240に集束させるための電子レンズを形成するため、例えばステンレスなどの金属板からなる保護電極214が設置されている。この保護電極214は透過窓となるシリコン箔240と同電位である。なお、この保護電極214は、アルミニウムやクロムなどの蒸着により形成してもよいが、蒸着の場合は膜厚が薄いために導通不良となることがあり、保護電極214の電位を確実に問うか窓となるシリコン箔240と同一にするためには金属板を用いた方が好ましい。

#### 【0030】

なお、この第2実施形態においても、容器本体201のガラス面板に直接接触した状態で貼り付けられたシリコン箔240の、真空密閉容器内に面する側の面、より詳しくはシリコン箔240の、開口202を実質的に覆っている部分の真空密閉容器内に面する側の面には、X線ターゲット241が蒸着されている。この蒸着されたX線ターゲット241の一部が保護電極214と電気的に接続されることによって、保護電極214、シリコン

図 240、X線ターゲット 241 は同電位となる。ただし、真空密閉容器内に位置する側の開口 202 の角への蒸着がうまくいかない場合もあるので、保護電極 214 をシリコン箔 240 又は X センターターゲット 241 に導電性部材を介して電氣的に接続させてもよい。例えばこの第 2 実施形態に係る X 線管において、X 線ターゲット 241 側を GND 電位にして使用する場合には、保護電極 214 又はシリコン箔 240 を、導電性部材を介して接地させればよい。なお、X 線ターゲット 241 と保護電極 214 が共通の材料からなる場合は、両者を蒸着により一緒に形成することも可能である。また、電子源 210 は、従来のフィラメント等の熱陰極型電子源に限らず、当該 X 線管自体を小型化する場合にはカーボンナノチューブ電子源等の冷陰極型電子源も適用可能である。

#### 【0031】

この第 2 実施形態に係る透過型 X 線管 200 に適用されるシリコン箔 240 は、 $30\ \mu\text{m}$  以下、好ましくは  $10\ \mu\text{m}$  以下の厚みを有する。このように、シリコン箔 240 は、非常に薄いので、密閉容器に設けられた開口（第 2 実施形態では、容器本体 201 の一部を構成するガラス面板の開口 202 に相当）の面積が大き過ぎるとクラックが生じてしまう可能性がある。そこで、この第 2 実施形態でも、例えば図 4 に示されたように、容器本体 201 のガラス面板は、それぞれが透過窓に相当する複数の貫通孔を有してもよい。また、このガラス面板に、透過窓を複数の区画に分割するようメッシュ構造が設けられてもよい。

#### 【0032】

以上のように、この第 2 実施形態でも、密閉容器やシリコン箔 240 の貼り付けは陽極接合により行われる。この場合、予め薄膜化されたシリコン箔 240 と容器本体 201（ガラス面板の部分）とを直接接合する場合だけでなく、厚いシリコンをガラス面板部分に接合した後に化学エッチングや機械研磨などで薄膜化しても製作が可能である。例えば、安価な  $200\sim 400\ \mu\text{m}$  厚のシリコンウエハで陽極接合により封止した後に化学エッチングまたは機械研磨により  $3\sim 10\ \mu\text{m}$  厚にすれば良いため、さらに安価な X 線管の製造及び供給が可能になる。なお、陽極接合の際に用いるガラス部材にはアルカリを多く含むホウケイ酸ガラス（コバルガラス）やパイレックス（登録商標）ガラスが一般的には多く使われる。

#### 【0033】

##### （第 3 実施形態）

次に、この発明に係る X 線管における第 3 実施形態について説明する。図 8 は、この発明に係る X 線管の第 3 実施形態として、反射型 X 線管 300 の構成を示す図である。

#### 【0034】

この第 3 実施形態に係る X 線管 300 は、開口 302 を備えた容器本体 301 を備える。透過窓を規定するための開口 331 が設けられたガラス面板 330 が、例えばロウ付けによって金属フランジ 320 に接合されており、この金属フランジ 320 がこの容器本体 301 の開口 302 に取り付けられている。ガラス面板 330 には、開口 331 を塞ぐようにシリコン箔 340 が陽極接合により直接接触した状態で貼り付けられている。また、この第 3 実施形態に係る X 線管は、反射型 X 線管であるので、X 線ターゲット 341 は X 線ターゲット支持体 370 に固定されている。なお、ガラス面板 330 の、容器内に面した面には保護電極 332 が設置されている。

#### 【0035】

また、容器本体 301 内には、STEM ピン 313 を介して所定位置に保持された電子源 310、集束電極 311 が設けられている。

#### 【0036】

ところで、上述の第 1 実施形態及び第 2 実施形態のように、透過窓材であるシリコン箔 140、240 に X 線ターゲット 141、241 が蒸着された場合、該 X 線ターゲットの発熱が問題となる場合があり得る。従来から利用されてきたベリリウムに比べシリコンの熱伝導率は多少落ちるため、ターゲットライフの劣化が予想され得るからである。しかしながら、この第 3 実施形態に係る反射型 X 線管 300 の場合、X 線ターゲット 341 は、

D  
X線ターゲット支持体270に固定され、シリコン箔340とは非接触であるので、透過窓材としてシリコン箔が適用されることによるターゲットライフへの影響はない。

#### 【0037】

上述のように、第1～第3実施形態に係るX線管100～300において、透過窓材であるシリコン箔は、密閉容器の一部を構成するガラス面板に直接接触した状態で貼り付けられる。このようにシリコン箔をガラス面板に直接貼り付けるのは、より均一な張力をシリコン箔全体に生じさせるためである。すなわち、これら密閉容器とシリコン箔の間にロウ材などが介在すると、ロウ材表面の凹凸等により非常に薄いシリコン箔に歪みが生じたり、さらにはクラックが生じる可能性があるためである。

#### 【0038】

以下、上述のようなシリコン箔とガラス面板（アルカリ含有ガラス）の陽極接合について説明する。

#### 【0039】

（陽極接合）

図9は、アルカリ含有ガラスにシリコン箔を貼り付ける陽極接合を説明するための図であり、具体的な構成として、図6に示された第2実施形態において、3mmφの開口202を有するガラス容器本体201に厚み10μmのシリコン箔240を貼り付ける陽極接合について説明する。

#### 【0040】

密閉容器に真空機密性を持たせるため、シリコン箔240の厚みは真空封止が可能な範囲の厚さが必要であるが、なるべく薄い方がX線透過率の点からは有利になる。厚みは3μm程度以上あれば真空密閉容器の封止を兼ねた透過窓材として使用可能であるが、この例では、扱いやすさを優先して厚み10μmのシリコン箔240を用意した。この例においては、シリコン箔240は機械研磨により厚みを10μmにした。これはエッチングにより作成したシリコン箔であっても使用に際して何ら支障はない。

#### 【0041】

また、この陽極接合に利用されるガラスは、ガラス中にアルカリイオンが含まれている必要がある。陽極接合は、ガラスを加熱しながら電圧を印加することにより、該ガラス内のアルカリイオンを移動させ接合する方式だからである。さらに、ガラスに要求される条件としては、シリコンと近い熱膨張係数を有するのが好ましい。熱膨張係数があまり異なると、接合はできても、接合後に冷却した際にシリコン箔が破れてしまうためである。これらの条件を満たすガラスとしては、パイレックスガラスやホウケイ酸ガラスがある。この例では、入手性、接合後の電子管への組みやすさ及び加工の容易さの点からホウケイ酸ガラスが利用されている。なお、ホウケイ酸ガラスの厚みは、真空管として真真空気密が維持できればよいので、1mmとした。

#### 【0042】

まず、X線管の透過窓を有する面板となるガラス容器201の上部中心部202aに直径3mmの穴202を開ける。この開口202は超音波加工などにより容易に開けることができる。穴あけ加工後は、開口202周辺のバリや欠けを機械加工研磨により修正し、なるべく均一な円形状に表面処理する。その際、特にシリコン箔240がある側の開口202の角の部分の部分を曲面に加工すれば、より好ましい。その後、このガラス容器201の表面を脱脂洗浄する。続いて、シリコン箔240を7mm角程度にカットする。このシリコン箔240のサイズは、ガラス容器201における開口202より大きく、ガラス容器201の外縁よりも小さければよく、形状などに制限はない。

#### 【0043】

次に、400℃程度まで加熱可能なホットプレート250を準備し、その上にグラウンド電位となる厚み1mmのアルミ板260をセットする。このアルミ板260の上に開口202を有するガラス容器201を置き、該開口202を覆うようにシリコン箔240をセットする。その上から金属製の重し270（SUS304、直径7mm、高さ40mm）をセットする。この重し270には500V～1000Vの電圧を印加するための線が取り付け

られている。

#### 【0044】

上述のように各部材をセットした後、ホットプレート250を400℃まで加熱する。その結果、ホットプレート250上のグラウンド電位に設定されたアルミ板260、ガラス容器本体201及びシリコン箔240が350℃以上に加熱される。この加熱状態でシリコン箔240上に置かれた重し270に+500V程度の電圧を印加すると、シリコン箔240及びガラス容器本体201を介して重し270からアルミ板260に数mAの電流が流れる。この電流はすぐに減衰し、数分後には数十 $\mu$ A以下になるので、そこでこの陽極接合は終了する。陽極接合が終了すると、ホットプレート250をオフにし、すぐに室温まで急冷してもシリコン箔240にはクラック等は発生しない。なお、この例における加熱作業は大気中で行われているが、真空中で行われる方が、接合部における泡の発生が抑制されるため、真空リークの危険は減る。また、シリコン箔240とガラス容器本体201とは、ガラス容器本体201の内部側で接合してもよく、その場合、重し270に印加される電圧は逆に設定される（-500Vが印加される）。

#### 【0045】

最後に、ヘリウムリークディテクタで真空リークのチェックを行い、リークが無いことを確認する。そして、シリコン箔240内面にX線ターゲット241を真空蒸着し、電子源210、集束電極211、保護電極214と組み合わせてX線管内に組み込めば、シリコン箔を透過窓材としたX線管が得られる。

#### 【0046】

なお、以上の陽極接合は、ロウ付けに起因した課題を解決一方、該ロウ付けに比べ工程数を大きく低減することができるため、X線管の製造原価をより低減することを可能にする。

#### 【0047】

次に、透過窓材として厚み10 $\mu$ mのシリコン箔が適用されたX線管のX線スペクトルと、比較のため用意された厚み10 $\mu$ mのベリリウムが適用されたX線管のX線スペクトルを図10に示す。なお、図10(a)は、X線ターゲットとして厚み800nmのアルミニウムが適用されており、シリコン箔及びベリリウムが適用された各X線管の管電圧は4kVである。この図10(a)において、グラフG1010aは、ベリリウムが透過窓材として適用されたX線管のX線スペクトルであり、グラフG1020aはシリコン箔が透過窓材として適用されたX線管のX線スペクトルである。一方、図10(b)は、X線ターゲットとして厚み200nmのタングステンが適用されており、シリコン箔及びベリリウムが適用された各X線管の管電圧は4kVである。この図10(b)において、グラフG1010bは、ベリリウムが透過窓材として適用されたX線管のX線スペクトルであり、グラフG1020bはシリコン箔が透過窓材として適用されたX線管のX線スペクトルである。

#### 【0048】

これら図10(a)及び図10(b)から分かるように、透過窓材としてシリコン箔が適用されたX線管は、該シリコンのX線透過特性がそのままX線フィルタの役割を果たすため、2keV～4keVのX線が当該シリコン透過窓により吸収され、その出力スペクトルは1.5keV付近のみが抜き出された形になっている。つまり、従来のベリリウム透過窓に比べ、人体に影響の大きい不要な高エネルギーX線をカットし、イオンガス発生に適したX線を選択的に取り出すことができる。なお、この測定は、X線管の透過窓（出力窓）とX線検出器との間隔が10mmに設定した状態で行われたが、この距離を100mm以上にすると大気による吸収（イオン化）のためX線は減衰してしまい検出できなくなる。

#### 【0049】

また、アルミニウムの特性X線（1.48keV）も高効率で大気中に取り出すことが可能になるため、例えばアルミニウムやマグネシウムの特性X線で励起する蛍光X線分析装置に使用されていたX線管を封じ切りタイプにすることが可能になり、従来装置の小型

化に貢献し得る。

【産業上の利用可能性】

【0050】

この発明は、上述のように特定化学物質に指定されている有害なベリリウムに換え、シリコン箔を透過窓材に利用しているので、人体に安全かつ低価格のX線管が得られる。また、このシリコン箔はロウ材等の接着材料を介さずに直接ガラス面板に貼り付けられるので、耐久性に優れた構造のX線管が得られる。このようなX線管は、軟X線管のみならず管電圧数十kV以上のX線管としても利用可能であり、除電装置など多くの電子機器に組み込み可能である。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】シリコンとベリリウムのX線透過率をそれぞれ示すグラフである。

【図2】この発明に係るX線管の第1実施形態として、透過型X線管の構成を示す組立工程図である。

【図3】図2中のI-I線に沿った、第1実施形態に係るX線管の断面構造を示す図である。

【図4】透過窓を規定するためのガラス板開口の他の構造を説明するための平面図である。

【図5】膜厚の異なる種々のシリコン箔のX線透過率を示す図である。

【図6】この発明に係るX線管の第2実施形態として、透過型X線管の構成を示す組立工程図である。

【図7】図6中のII-II線に沿った、第2実施形態に係るX線管の断面構造を示す図である。

【図8】この発明に係るX線管の第3実施形態として、反射型X線管の断面構造を示す図である。

【図9】密閉容器の一部（アルカリイオンを含有するガラス板）にシリコン箔を接着する方法を説明するための図である。

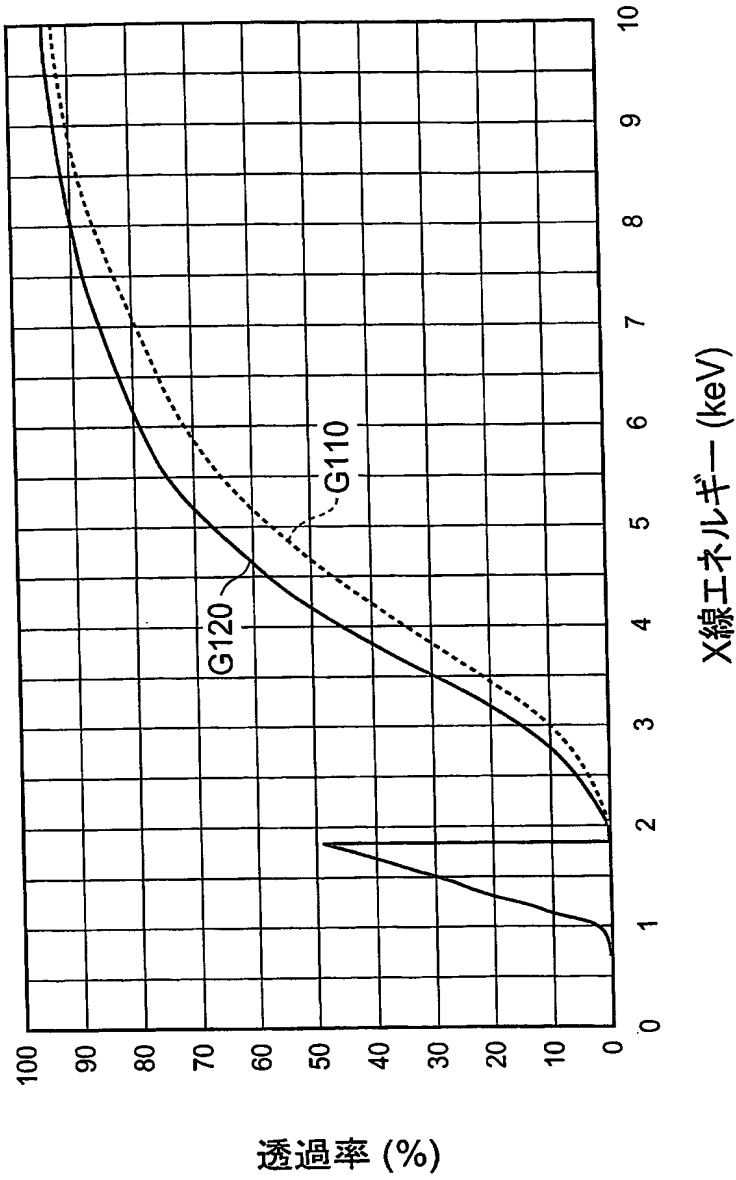
【図10】透過窓材として、ベリリウムとシリコンが適用されたX線管により得られたX線スペクトルである。

【符号の説明】

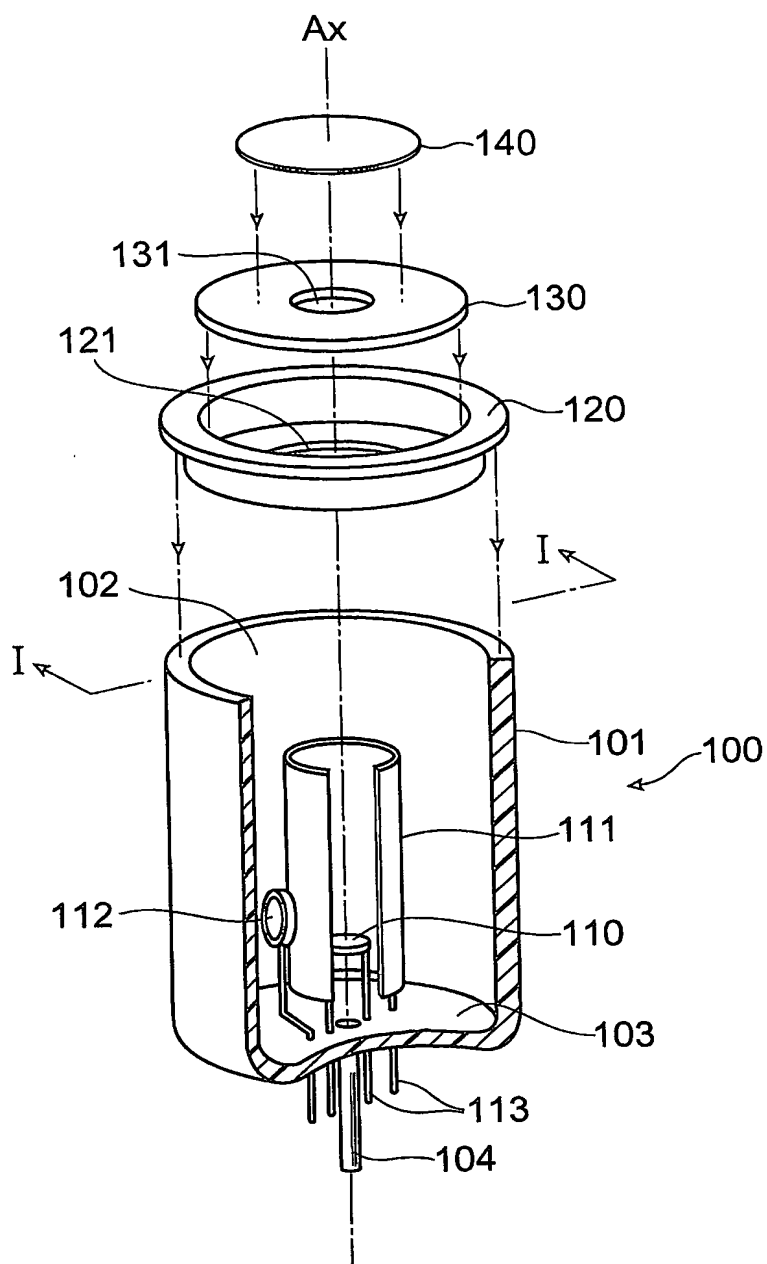
【0052】

- 100、200…透過型X線管
- 101、201、301…容器本体
- 110、210、310…電子源
- 111、211、311…集束電極
- 130…ガラス面板
- 140、240、340…シリコン箔
- 141、241、341…X線ターゲット
- 300…反射型X線管
- 370…X線ターゲット支持体。

【書類名】 図面  
【図 1】

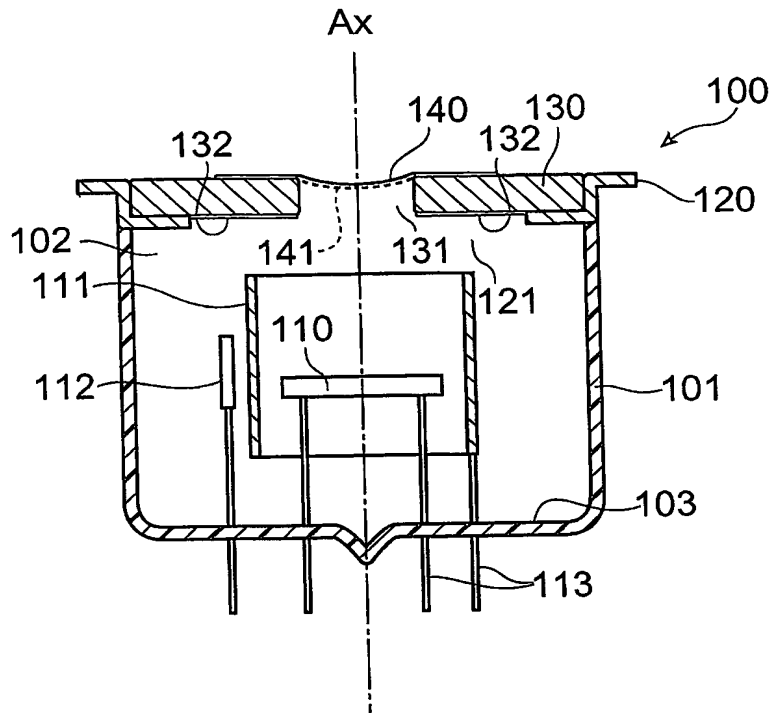


【図 2】





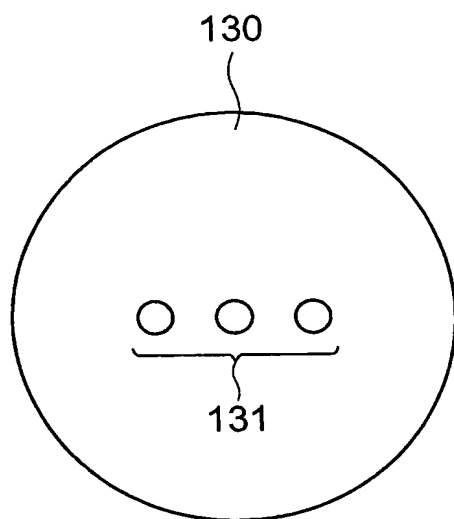
【図 3】



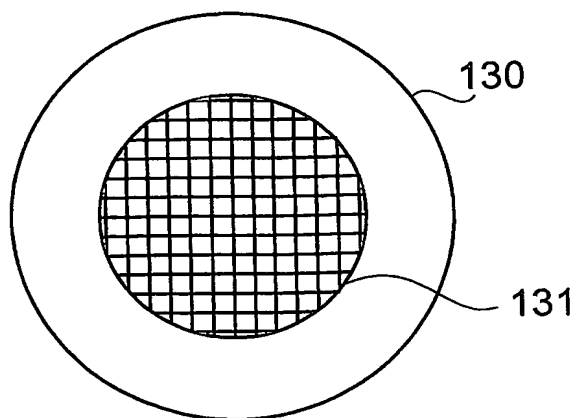


【図 4】

(a)

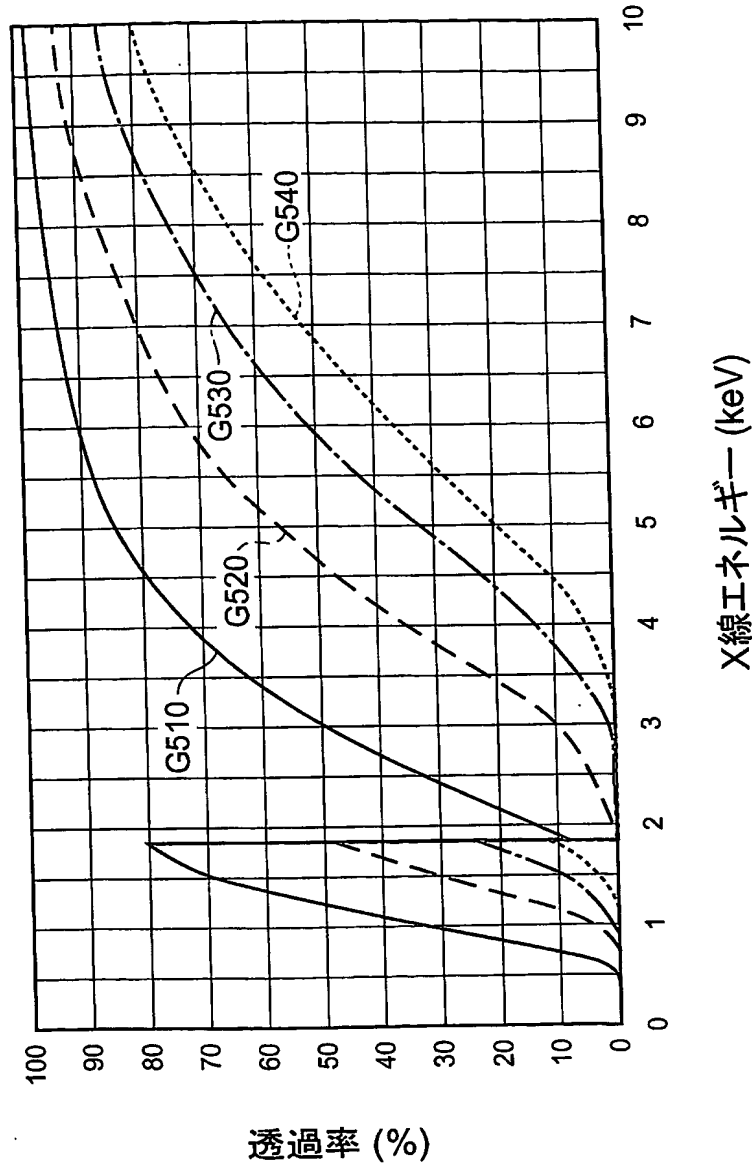


(b)

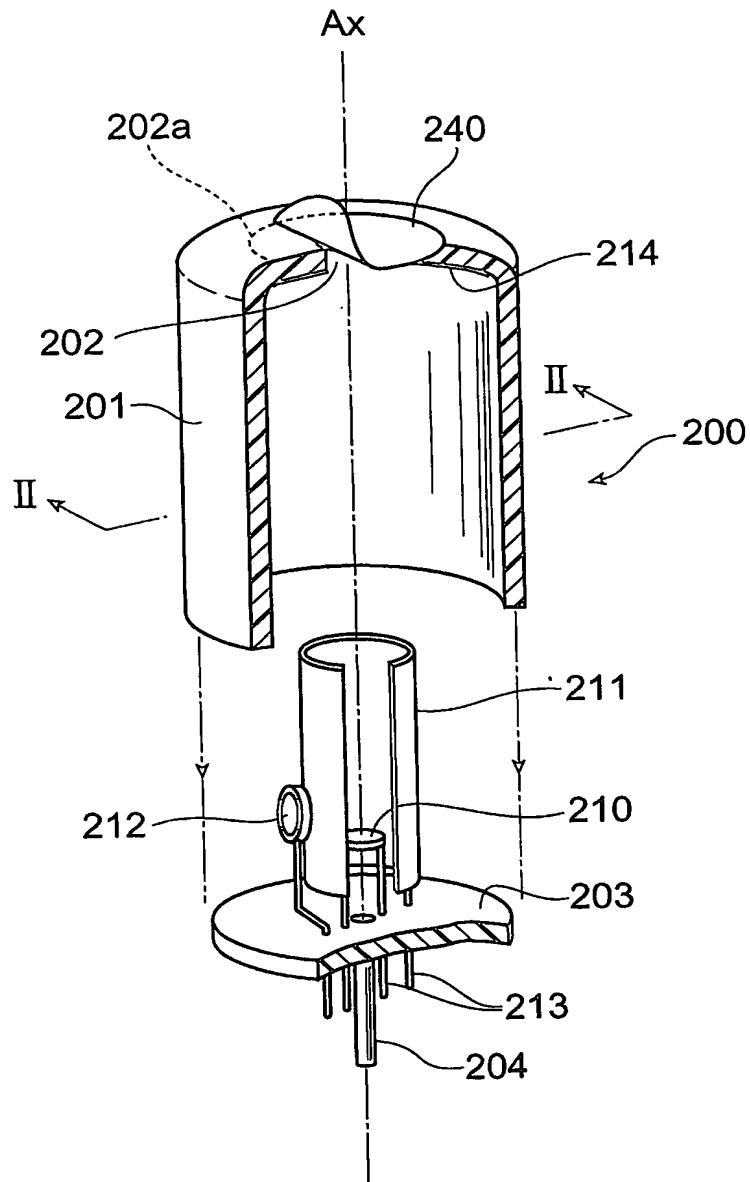




【図 5】

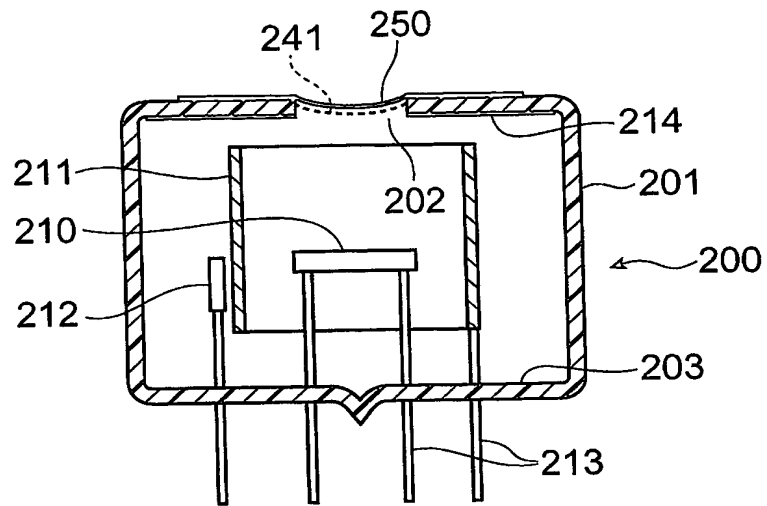


【図 6】



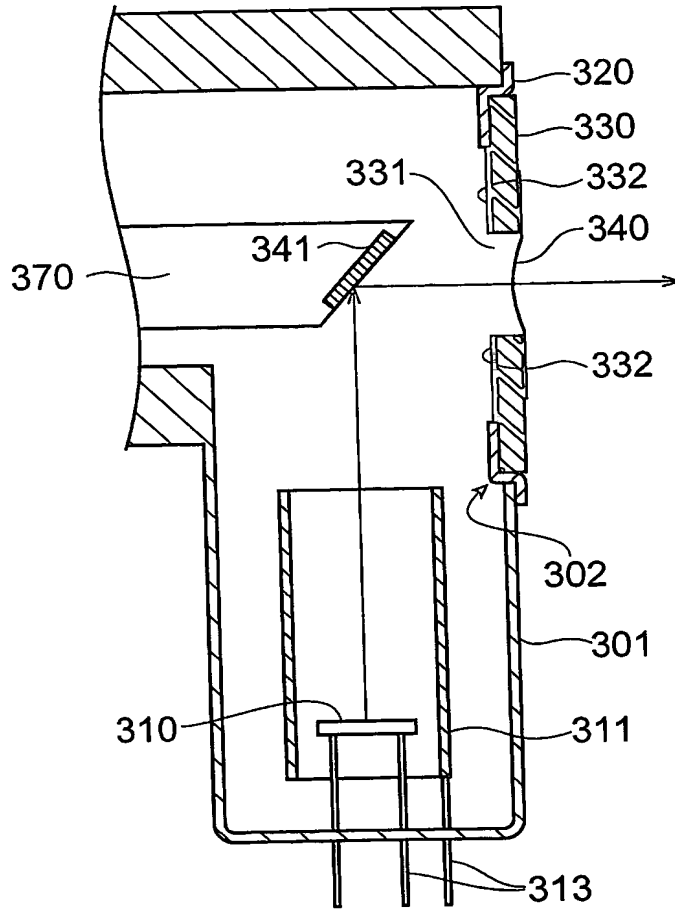


【図 7】



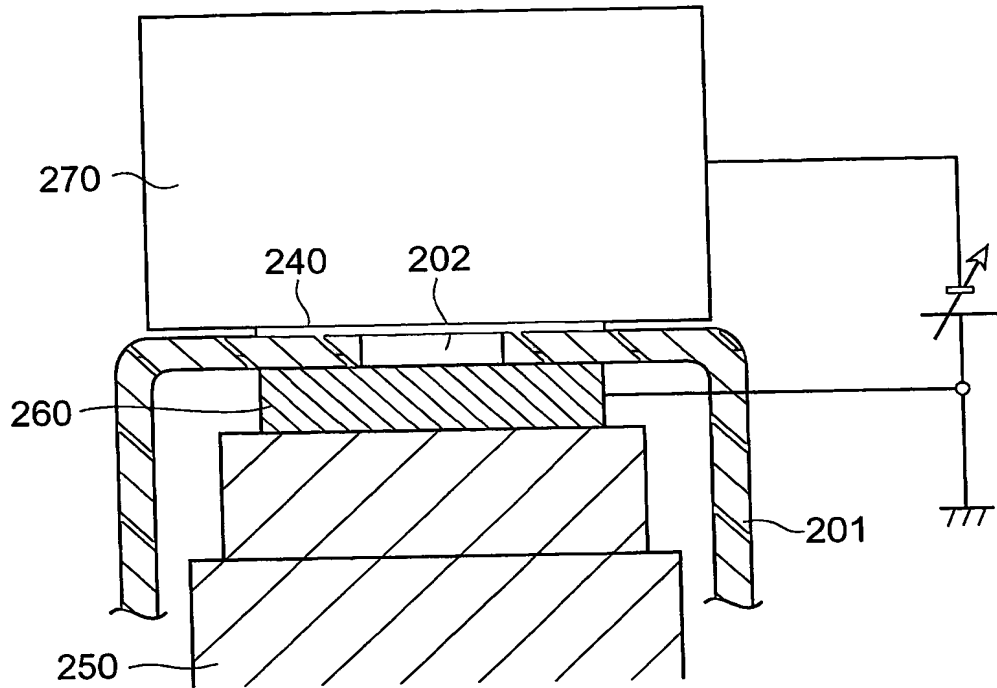


【図 8】



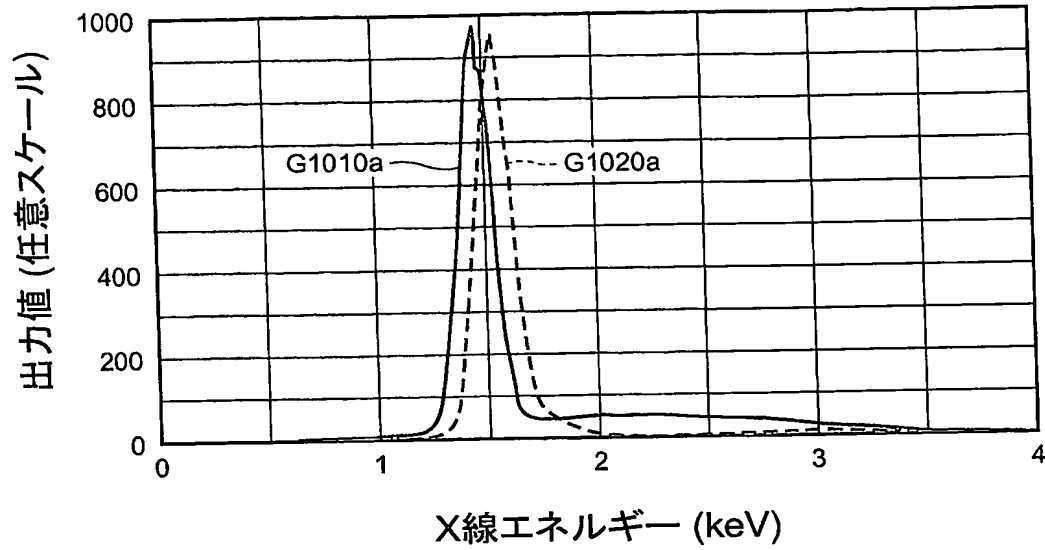


【図 9】

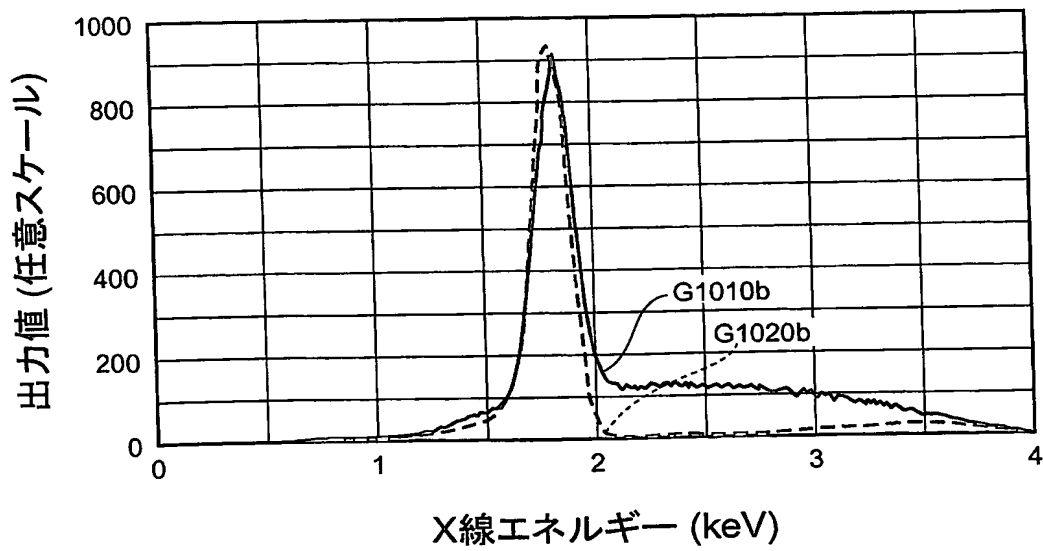


【図 10】

(a)



(b)



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 人体に対して安全性の高いX線が効率よく取り出せるとともに耐久性に優れた構造を備えたX線管を提供する。

【解決手段】 容器本体(101)、金属フランジ(120)、ガラス面板(130)及びシリコン箔(140)により密閉容器が構成され、該ガラス面板(130)にはシリコン箔(140)との陽極接合を可能にすべくアルカリイオンが含有されるとともに透過窓を規定するための開口(131)が設けられている。また、密閉容器内には、電子を放出する電子源(110)と、放出された電子を受けてX線を発生するX線ターゲット(141)が配置されており、シリコン箔(140)は、開口(131)を覆った状態でガラス面板(130)に直接貼り付けられている。

【選択図】 図2

特願 2 0 0 3 - 3 2 3 4 6 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 2 3 6 4 3 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1

氏 名

浜松ホトニクス株式会社